

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-130039

(43)Date of publication of application : 09.05.2002

(51)Int.Cl.

F02D 45/00

F02D 41/18

(21)Application number : 2000-326108

(71)Applicant : TOYOTA MOTOR CORP  
DENSO CORP

(22)Date of filing : 25.10.2000

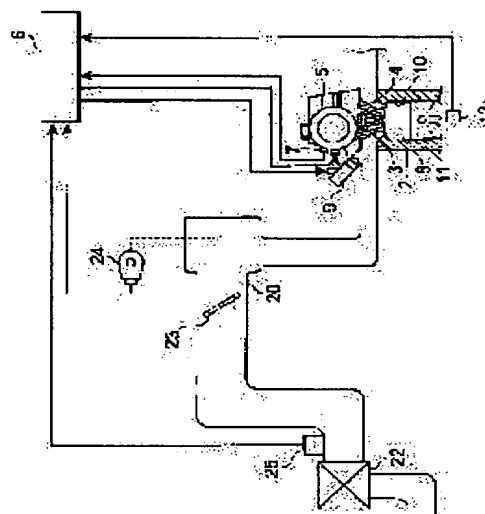
(72)Inventor : KOBAYASHI DAISUKE  
OHATA AKIRA  
MUTO HARUFUMI  
DODA HISAYO

## (54) FLOW RATE CALCULATING DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a flow rate calculating device capable of precisely calculating the flow rate of fluid passing through a ventilation path.

**SOLUTION:** This flow rate calculating device calculates the air flow rate passing through a throttle valve 23 provided on the way to an intake pipe 20. On the assumption that the flow rate of fluid passing the throttle valve 23 is set to  $m_t$ , the opening area of the throttle valve 23 is set to  $A_d$ , an upstream pressure in the upstream side of the throttle valve 23 is set to  $P_u$ , an upstream density in the upstream side of the throttle valve 23 is set to  $\rho_u$ , a downstream pressure in the downstream side of the throttle valve is set to  $P_d$ , and a specific heat ratio of the passing air is set to  $k$ , the air flow rate  $m_t$  is calculated from the following expression.  $m_t = A_d \cdot (P_u \cdot \rho_u)^{1/2} \cdot (((k-1)/(2 \cdot k)) \cdot (1 - P_d/P_u) + P_d/P_u)^{1/2}$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 16.07.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] In the flow rate calculation equipment which computes the flow rate of the fluid which passes the variable-aperture section prepared in the middle of an aeration path The opening area of  $m_t$  and said variable-aperture section for the flow rate of said fluid which passes said variable-aperture section  $A_d$ , The upper consistency of the upstream of said variable-aperture section [ in / for the upper pressure of the upstream of said variable-aperture section in said aeration path /  $P_u$  and said aeration path ]  $\rho_{hu}$ , Flow rate calculation equipment characterized by having an operation means to compute the flow rate  $m_t$  of said fluid by the following formulas when the ratio of specific heat of  $P_d$  and said fluid is set to  $k$  for the down-stream pressure of the downstream of said variable-aperture section in said aeration path.

$m_t = A_d (P_u - \rho_{hu})^{1/2} (k-1) / ((2 \text{ and } k)) (- (1 - P_d/P_u) + P_d/P_u) (- (1 - P_d/P_u))^{1/2}$ .

[Claim 2] Said operation means is flow rate calculation equipment according to claim 1 characterized by computing the flow rate  $m_t$  of said fluid using the following formulas.

$m_t = A_d \text{ and } (P_u - \rho_{hu})^{1/2}$ , and  $\phi (P_d/P_u)$ .

In addition, Function  $\phi (P_d/P_u)$  is  $1/2$  at the time  $(k-1)$  of  $1/2$  and  $(P_d/P_u) > (1/(1+k)) / ((2 \text{ and } k)) (- (1 - P_d/P_u) + P_d/P_u) (- (1 - P_d/P_u))$  at the time  $(k/(2 - (k+1)))$  of  $(P_d/P_u) \leq (1/(1+k))$ .

[Claim 3] Said variable-aperture section is flow rate calculation equipment according to claim 1 or 2 characterized by being the throttle valve prepared in an internal combustion engine's inhalation-of-air path.

[Claim 4] Said variable-aperture section is flow rate calculation equipment according to claim 1 or 2 which is a duty control valve and is characterized by setting up said opening area based on duty ratio.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the flow rate calculation equipment which computes the flow rate of the fluid which passes the variable-aperture section prepared in the middle of an aeration path.

[0002]

[Description of the Prior Art] It is the inhalation air content calculation approach which computes the air content inhaled by an internal combustion engine's gas column through the inlet pipe equipped with the throttle valve, and it considers that a throttle valve is an orifice and what calculates the air content which passes through that according to throttle opening using the formula of hydrodynamics is known so that JP,6-74076,A may indicate an aeration path conventionally as the technical technique which computes the flow rate of flowing fluid and which carries out flow rate calculation.

[0003] This flow rate calculation approach presupposes that it computes so that next presumed calculation may not be influenced, even if there is that presumed error while raising the presumed precision of a flow rate using a real pressure on the occasion of flow rate calculation.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] however, the fluid which uses the relational expression of adiabatic change and circulates by this flow rate calculation approach -- setting -- etc. -- from [ computing the flow rate on the assumption that entropy conditions are satisfied ] -- etc. -- there is a trouble that an exact flow rate is uncomputable under the situation that entropy conditions are not satisfied. Since \*\* entropy conditions are not necessarily satisfied when computing the air content which flows an internal combustion engine's inlet pipe especially, calculation of an exact flow rate is difficult.

[0005] Then, this invention is made in order to solve such a trouble, and it aims at offering the flow rate calculation equipment which can compute the flow rate of flowing fluid for an aeration path correctly.

[0006]

[Means for Solving the Problem] Namely, the flow rate calculation equipment concerning this invention is set to the flow rate calculation equipment which computes the flow rate of the fluid which passes the variable-aperture section prepared in the middle of an aeration path. The opening area of  $m_t$  and the variable-aperture section for the flow rate of the fluid which passes the variable-aperture section  $A_d$ , When the ratio of specific heat of  $P_d$  and a fluid is set to  $k$ , the down-stream pressure of the downstream of the variable-aperture section [  $p_{in}$  / for the upper consistency of the upstream of the variable-aperture section /  $p_{in}$  / for the upper pressure of the upstream of the variable-aperture section in an aeration path /  $P_u$  and an aeration path /  $\rho_{ou}$  and an aeration path ] It is characterized by having an operation means to compute the flow rate  $m_t$  of a fluid by the following formulas.  $m_t = A_d (P_u - \rho_{ou})^{1/2} (k-1) / (2 \text{ and } k) \{ -(1 - P_d/P_u) + P_d/P_u \} (- (1 - P_d/P_u))^{1/2}$ .

[0007] Moreover, the flow rate calculation equipment concerning this invention is characterized by the above-mentioned operation means computing the flow rate  $m_t$  of a fluid using the following formulas.  $m_t = A_d \text{ and } (P_u - \rho_{ou})^{1/2}$ , and  $\phi (P_d/P_u)$ . In addition, Function  $\phi (P_d/P_u)$  is  $1/2$  at the time  $(k/(2 - (k+1)))$  of  $(P_d/P_u) \leq (1/(1+k))$ , and is  $1/2$  at the time  $(k-1)$  of  $(P_d/P_u) > (1/(1+k)) / (2 \text{ and } k) \{ -(1 - P_d/P_u) + P_d/P_u \} (- (1 - P_d/P_u))$ .

[0008] Moreover, the flow rate calculation equipment concerning this invention is characterized by the above-mentioned variable-aperture section being the throttle valve prepared in an internal combustion engine's inhalation-of-air path.

[0009] Moreover, the above-mentioned variable-aperture section is a duty control valve, and the flow rate calculation equipment concerning this invention is characterized by setting up opening area based on duty

ratio.

[0010] According to these invention, since the flow rate of a fluid is computed without being based on the relational expression of adiabatic change, calculation of the flow rate of a fluid can compute correctly under the conditions on which entropy conditions are not satisfied.

[0011]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained to a detail with reference to an accompanying drawing. In addition, in explanation of a drawing, the same sign is given to the same element, and the overlapping explanation is omitted.

(The first operation gestalt)

[0012] The explanatory view of the flow rate calculation equipment applied to this operation gestalt at drawing 1 is shown.

[0013] As shown in this Fig., the flow rate calculation equipment concerning this operation gestalt is applied to the calculation of an air content which passes the throttle valve 23 of the inlet pipe 20 of an engine 2. The engine 2 is equipped with the adjustable valve timing device 5 in which have a good fluctuation valve system, for example, the closing motion timing of an inlet valve 3 and an exhaust valve 4 is changed.

[0014] It connects with ECU6 electrically, and the adjustable valve timing device 5 operates based on the control signal outputted from ECU6, and outputs the detecting signal about valve timing to ECU6 through the detection sensors 7, such as a cam position sensor.

[0015] The crank position sensor 12 is formed in the engine 2. The crank position sensor 12 is a sensor which detects an engine speed, and it connects with ECU6 and it outputs the appearance signal for necropsy to ECU6.

[0016] The injector 9 which injects a fuel is formed in the combustion chamber 8 at the engine 2. An injector 9 is a fuel-injection means to supply a fuel to a combustion chamber 8, and is installed every cylinder 10 with which an engine 2 is equipped. The combustion chamber 8 is formed above the piston 11 arranged in the cylinder 10. The inlet valve 3 and the exhaust valve 4 are arranged in the upper part of a combustion chamber 8.

[0017] The inlet pipe 20 which consists of an intake manifold etc. is connected to the upstream of an inlet valve 3. The air cleaner 22 is installed in the upstream of an inlet pipe 20. Moreover, the throttle valve 23 is formed in the middle of the inlet pipe 20.

[0018] A throttle valve 23 is the variable-aperture section prepared in the middle of an inhalation-of-air path, operates based on the control signal of ECU6, changes throttle opening, and changes the opening area of an inhalation-of-air path in connection with it. The throttle opening of a throttle valve 23 is detected by the throttle position sensor 24, and is inputted into ECU6.

[0019] The air flow meter 25 is formed in the down-stream location of an air cleaner 22. An air flow meter 25 is an inhalation air content detection means to detect an inhalation air content. The detecting signal of an air flow meter 25 is inputted into ECU6.

[0020] ECU6 controls the whole equipment of flow rate calculation equipment, and the computer containing CPU, ROM, and RAM is constituted as a subject. The various control routines which contain a flow rate calculation routine in ROM are memorized.

[0021] Next, actuation of the flow rate calculation equipment concerning this operation gestalt is explained.

[0022] Drawing 2 is a flow chart which shows actuation of flow rate calculation equipment.

[0023] Step S10 (it is only hereafter indicated as "S10".) of this Fig. Suppose that it is the same about other steps. Reading of the throttle opening TA, engine-speed NE, and valve timing VT is performed.

[0024] Reading of the throttle opening TA is performed based on the output signal of a throttle position sensor 24. Reading of an engine speed NE is performed based on the output signal of the crank position sensor 12. Reading of valve timing VT is performed based on the output signal of the detection sensor 7.

[0025] And it shifts to S12 and the operation of the air flow rate mt which passes the throttle valve 23 of an inlet pipe 20 is performed. The operation of this air flow rate mt is performed based on the following formula (1).

[0026]

$mt = Ad \cdot \text{and}(Pu - rhou)^{1/2} \cdot \text{andphi}(Pd/Pu) \dots (1)$

[0027] Here, Function phi (Pd/Pu) is  $1/2$  at the time  $(k/(2 - (k+1)))$  of  $(Pd/Pu) \leq (1/(1+k))$ , and are the time  $(k-1)$  of  $(Pd/Pu) > (1/(1+k))$   $((2 \text{and} k) \cdot (-1 - Pd/Pu) + Pd/Pu) \cdot (1 - Pd/Pu)$ , and  $1/2$ .

[0028] Moreover, it is the ratio of specific beat of the air with which the upper pressure of the upstream of the throttle valve 23 of an inlet pipe 20 and rhou are inhaled for opening area [ in / in Ad / the location of the throttle valve 23 of an inlet pipe 20 ], and Pu, and the down-stream pressure of the downstream of the

throttle valve 23 of an inlet pipe 20 and  $k$  are inhaled for the upper consistency of the upstream of the throttle valve 23 of an inlet pipe 20, and  $P_d$ .

[0029] The operation of the concrete air flow rate  $mt$  is performed as follows.

[0030] Since it is decided that an air flow rate and the pressure-of-induction-pipe force will be meaning when an engine 2 is a steady state, if the amount of steady flows at this time is set to  $mtTA$  and static pressure is set to  $P_dTA$ , the following formula (2) will be materialized based on an above-mentioned formula (1).

[0031]

$mtTA = A_d \text{ and } (P_u - r_{hou})^{1/2} \text{ and } \phi(P_dTA/P_u) \dots (2)$

[0032] Here, if it supposes that a formula (1) is materialized also in transients other than a steady state, and is dealt with as that for which  $A_d$  ( $P_u - r_{hou}$ ) and  $1/2$  do not depend on up-and-down differential pressure by the same throttle opening in a formula (1) and a formula (2) and  $A_d$  ( $P_u - r_{hou}$ ) and  $1/2$  are eliminated by the formula (1) and the formula (2), the following formula (3) will be obtained.

[0033]

$Mt = mtTA \cdot \phi(P_d/P_u) / \phi(P_dTA/P_u) \dots (3)$

[0034] And since the throttle opening  $TA$ , engine-speed  $NE$ , and valve timing  $VT$  can determine  $mtTA$  at the time of a steady state, and  $\phi(P_dTA/P_u)$ ,  $mtTA/\phi(P_dTA/P_u)$  is set up as a table of the throttle opening  $TA$ , engine-speed  $NE$ , and valve timing  $VT$ , and  $\phi(P_d/P_u)$  is set up as a table of  $P_d$ .

[0035] Thereby, according to the throttle opening  $TA$ , engine-speed  $NE$ , and valve timing  $VT$ , the air flow rate  $mt$  which passes a throttle valve 23 is computable using a formula (3).

[0036] In addition, in calculation of the above-mentioned air flow rate  $mt$ , the air flow rate  $mt$  of a transient may be computed by setting up  $mtTA$  and  $P_dTA$  at the time of a steady state as a table of the throttle opening  $TA$ , engine-speed  $NE$ , and valve timing  $VT$ , respectively, setting up  $\phi(P_d/P_u)$  as a table of  $P_d$ , and referring to by  $P_d$  and  $P_dTA$ .

[0037] Moreover, since the inhalation air content to the throttle opening  $TA$  and an engine 2 is equal in the case of a steady state, the air flow rate  $mt$  of a transient may be computed by setting up  $P_dTA$  as a table of the throttle opening  $TA$ , engine-speed  $NE$ , and valve timing  $VT$ , computing  $mtTA$ , setting up  $\phi(P_d/P_u)$  as a table of  $P_d$ , and referring to by  $P_d$  and  $P_dTA$  with a charging efficiency.

[0038] Moreover, the upper pressure  $P_d$  may form a pressure sensor in an inlet pipe 20, may use an actual measurement for it, and may determine it by presumption from detection values, such as an air flow meter 25. Furthermore, the table of  $\phi(P_d/P_u)$  may set an argument to  $P_d$ , or may make it  $P_d/P_u$ .

[0039] Next, the calculation result in the flow rate calculation equipment concerning this operation gestalt is explained.

[0040] The calculation result of the throttle passage air content in the flow rate calculation equipment applied to this operation gestalt at drawing 3, the calculation result of the throttle passage air content in the flow rate calculation equipment used as the example of a comparison, and the observation result of a high response flowmeter are shown. Time amount change of throttle opening [ in / in drawing 4 / calculation of drawing 3 ] and drawing 5 express time amount change of the pressure-of-induction-pipe force (intake pressure).

[0041] As shown in drawing 3, it turns out that the calculation result in the flow rate calculation equipment concerning this operation gestalt is well followed in the actual measurement of a high response flowmeter, and the flow rate is computed correctly. On the other hand, it turns out that the calculation result in the flow rate calculation equipment used as the example of a comparison is not followed in the part into which the passage air content started at the actual measurement of a high response flowmeter, and the flow rate is not computed correctly.

[0042] Here, what computes the throttle passage air content  $mt$  based on the following formula (4) was used for the flow rate calculation equipment used as the example of a comparison.

[0043]

$mt = A_d (P_u - r_{hou})^{1/2} \phi_1(P_d/P_u) \dots (4)$

[0044] Functions  $\phi_1(P_d/P_u)$  are  $1/(2/(k+1))/(k-1) (2.k/(k+1))$  and  $1/2$  here at the time of  $(P_d/P_u) \leq (2/(k+1)) k/(k-1)$ . It is  $1 - (2/k - (P_d/P_u) (k+1)/k) (2.k/(k-1)) (P_d/P_u)/2$  at the time of  $(P_d/P_u) > (2/(k+1)) k/(k-1)$ .

[0045] the formula (4) of calculation of this example of a comparison -- the conservation of mass (formula (5)) and the law of conservation of energy (formula (6)) -- reaching -- etc. -- it is the formula drawn by the relational expression (formula (7)) of the adiabatic change on condition of entropy condition formation.

[0046]

$Au \cdot \rho_u \cdot v_u = Ad \cdot \rho_d \cdot v_d \dots (5)$

[0047]

$v_u^2/2 + (k/(k-1)) \cdot (P_u/\rho_u) = v_d^2/2 + (k/(k-1)) \cdot (P_d/\rho_d) \dots (6)$

[0048]  $P_u/\rho_u \cdot u_k = P_d/\rho_d \cdot d_k \dots (7)$

[0049] In addition,  $\rho_d$  is [ the air rate of flow of the upstream of a throttle valve 23 and  $v_d$  of the downstream consistency of the downstream of the throttle valve 23 of an inlet pipe 20 and  $v_u$  ] the air rates of flow of the downstream of a throttle valve 23.

[0050] On the other hand, the flow rate calculation equipment concerning this operation gestalt is computing the throttle passage air content  $mt$  based on an above-mentioned formula (1). A formula (1) is a formula drawn by the above-mentioned conservation of mass (formula (5)), the law of conservation of energy (formula (6)), and the following law of conservation of momentum (formula (8)).

[0051]

$\rho_d \cdot v_d^2, Ad \cdot \rho_u \cdot v_u^2, \text{ and } Au = Pu \cdot Au - Pd \cdot Ad + p \cdot (Ad - Au) \dots (8)$

[0052] In addition,  $p$  is the whole upstream mean pressure of a throttle valve 23.

[0053] If the opening area  $Au$  of the upstream is considered as infinity when it considers as the opening area  $Au$  of the upstream of a throttle valve 23, consistency  $\rho_u$ , a pressure  $P_u$ , and the rate of flow  $v_u$  and considers as the opening area  $Ad$  of a throttle valve 23, consistency  $\rho_d$ , a pressure  $P_d$ , and the rate of flow  $v_d$ , as shown in drawing 6, it will be set to  $v_u=0$  from the conservation of mass of a formula (5).

[0054] Moreover, if  $v_u=0$  is taken into consideration, it will become  $p=P_u$  from the law of conservation of momentum of a formula (8). Therefore, a law of conservation of momentum serves as  $\rho_d \cdot v_d^2 = P_u - P_d$ .

[0055] Therefore, a formula (1) and (the case of  $(P_d/P_u) > (1/(1+k))$ ) are drawn as a throttle passage air content  $mt$ . Drawing 7 graph-izes  $\phi$  ( $P_d/P_u$ ) of the formula (1) in the flow rate calculation equipment concerning this operation gestalt (in the case of  $k=1.4$ ).

[0056] As mentioned above, according to the flow rate calculation equipment concerning this operation gestalt, the air flow rate which passes the throttle valve 23 of an inlet pipe 20 is computed using the formula (1) drawn by the conservation of mass (formula (5)), the law of conservation of energy (formula (6)), and the law of conservation of momentum (formula (8)), without being premised on \*\* entropy condition formation. For this reason, the throttle-valve 23 passage air flow rate in which \*\* entropy conditions are not necessarily satisfied is correctly computable.

(The second operation gestalt)

[0057] Next, the flow rate calculation equipment concerning the second operation gestalt is explained.

[0058] Although the flow rate calculation equipment concerning the first operation gestalt explained the case where it applies to the calculation of an air content which passes the throttle valve 23 of the inlet pipe 20 of an engine 2, the flow rate calculation equipment concerning this operation gestalt is flow rate calculation equipment which computes the flow rate of the fluid which passes the variable-aperture section prepared in the middle of an aeration path, and when the variable-aperture section is a duty control valve, it applies.

[0059] For example, control valves, such as an EGR valve and a purge control valve, repeat ON and OFF, and the flow rate calculation equipment concerning this operation gestalt is applied to what computes the flow rate which circulates using the formula (1) mentioned above when duty control was carried out and the flow rate of a fluid was adjusted.

[0060] In this case, when the control frequency of duty control is smaller than the count frequency of a flow rate, an opening area actual as an opening area  $Ad$  of a formula (1) is substituted, and calculation of a flow rate is performed.

[0061] On the other hand, as shown in drawing 8, when the control frequency of duty control is larger than the count frequency of a flow rate, the opening area  $Ad$  of a formula (1) is set up based on the duty ratio of duty control. That is, the average opening area in computation time spacing  $\Delta t$  is used as an opening area  $Ad$ , and calculation of a flow rate is performed.

[0062] Even if it is in the flow rate calculation equipment concerning such this operation gestalt, calculation of a flow rate is possible like the flow rate calculation equipment concerning the first operation gestalt, and the flow rate of the fluid which passes the variable-aperture section can be computed correctly.

[0063]

[Effect of the Invention] Since the flow rate of a fluid is computed without being based on the relational expression of adiabatic change according to this invention as explained above, calculation of the flow rate of a fluid can compute correctly under the conditions on which entropy conditions are not satisfied.

---

[Translation done.]

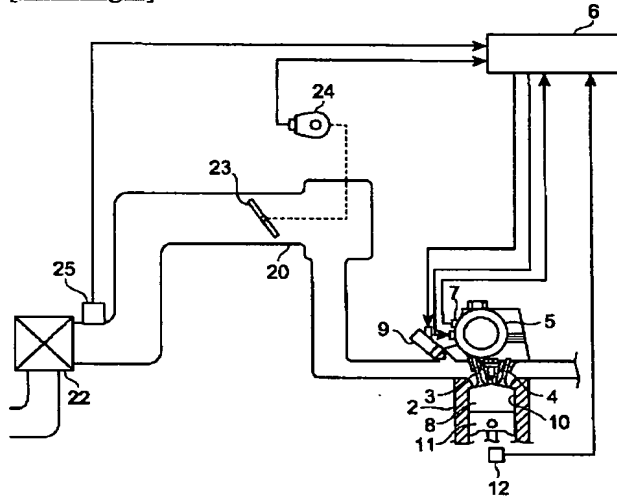
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

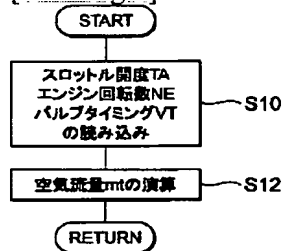
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

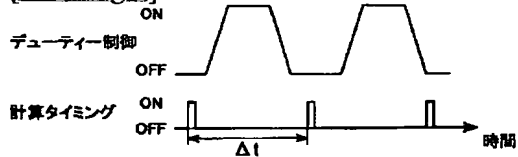
[Drawing 1]



[Drawing 2]

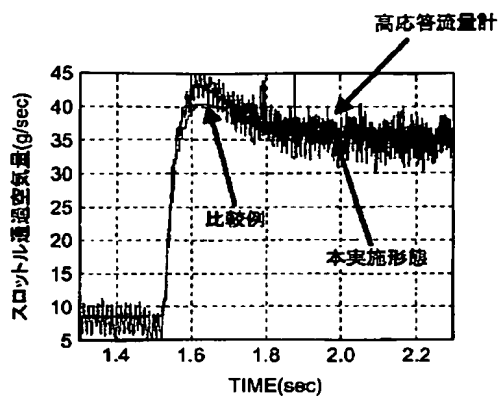


[Drawing 8]

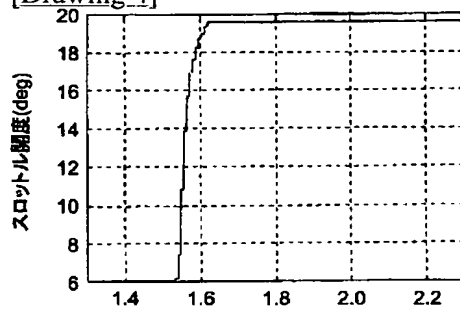


[Drawing 3]

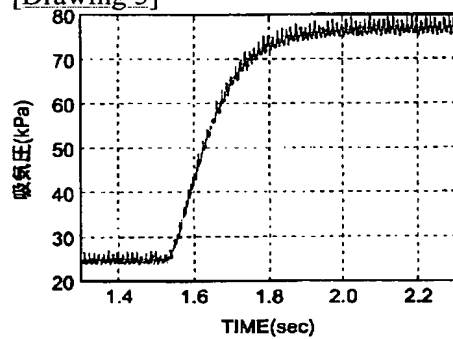




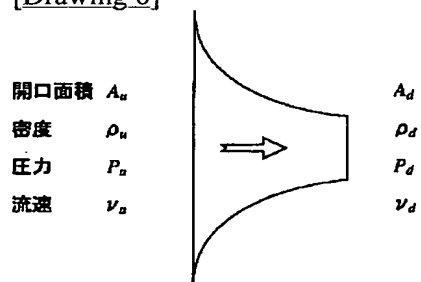
[Drawing 4]



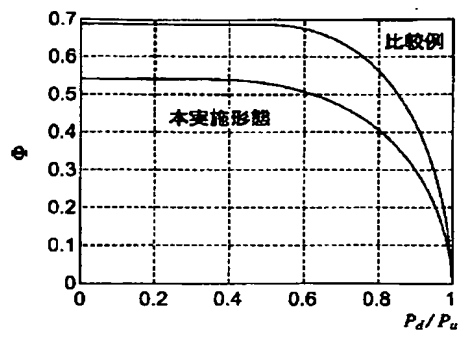
[Drawing 5]



[Drawing 6]



[Drawing 7]



---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-130039

(P2002-130039A)

(43) 公開日 平成14年5月9日 (2002.5.9)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

F 0 2 D 45/00

41/18

識別記号

3 6 4

3 6 6

F I

F 0 2 D 45/00

41/18

テ-マコ-ト (参考)

3 6 4 D 3 G 0 8 4

3 6 6 Z 3 G 3 0 1

E

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願2000-326108 (P2000-326108)

(22) 出願日

平成12年10月25日 (2000. 10. 25)

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(71) 出願人 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 小林 大介

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外1名)

最終頁に続く

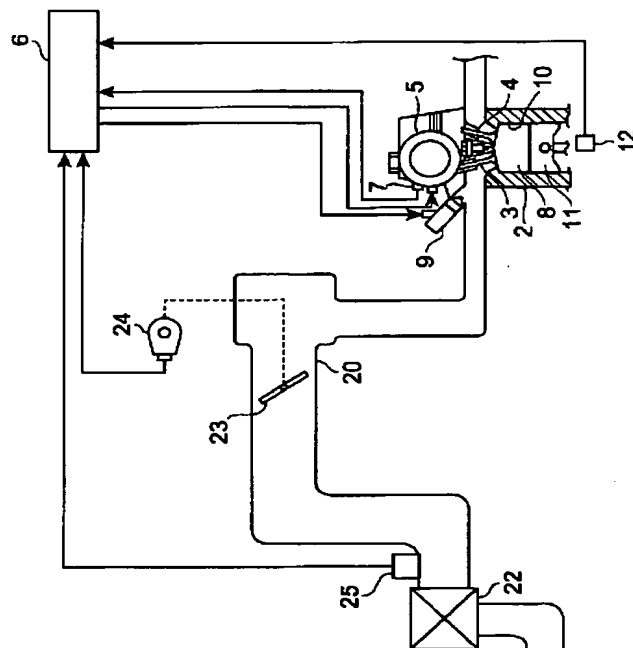
(54) 【発明の名称】 流量算出装置

(57) 【要約】

【課題】 通気経路を流れる流体の流量を正確に算出できる流量算出装置を提供すること。

【解決手段】 吸気管20の途中に設けられるスロットルバルブ23を通過する空気流量を算出する流量算出装置であって、スロットルバルブ23を通過する流体の流量を $m_t$ 、スロットルバルブ23の開口面積を $A_d$ 、スロットルバルブ23の上流側の上流圧力を $P_u$ 、スロットルバルブ23の上流側の上流密度を $\rho_u$ 、スロットルバルブ23の下流側の下流圧力を $P_d$ 、流通する空気の比熱比を $k$ としたときに、次の式により空気流量 $m_t$ を算出する。

$$m_t = A_d \cdot (P_u \cdot \rho_u)^{1/2} \cdot \left( \left( \frac{k-1}{2 \cdot k} \right) \cdot (1 - P_d/P_u) + P_d/P_u \right) \cdot (1 - P_d/P_u)^{1/2}$$



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 通気経路の途中に設けられる可変絞り部を通過する流体の流量を算出する流量算出装置において、

前記可変絞り部を通過する前記流体の流量を  $m t$ 、前記可変絞り部の開口面積を  $A d$ 、前記通気経路における前記可変絞り部の上流側の上流圧力を  $P u$ 、前記通気経路における前記可変絞り部の上流側の上流密度を  $\rho u$ 、前記通気経路における前記可変絞り部の下流側の下流圧力を  $P d$ 、前記流体の比熱比を  $k$  としたときに、以下の式により前記流体の流量  $m t$  を算出する演算手段を備えたこと、を特徴とする流量算出装置。

$$m t = A d \cdot (P u \cdot \rho u)^{1/2} \cdot \left( \left( (k-1) / (2 \cdot k) \right) \cdot (1 - P d / P u) + P d / P u \right) \cdot (1 - P d / P u)^{1/2}.$$

【請求項 2】 前記演算手段は、以下の式を用いて前記流体の流量  $m t$  を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の流量算出装置。

$$m t = A d \cdot (P u \cdot \rho u)^{1/2} \cdot \Phi (P d / P u).$$

なお、関数  $\Phi (P d / P u)$  は、

$$(P d / P u) \leq (1 / (1 + k)) \text{ のとき } (k / (2 \cdot (k + 1)))^{1/2}、$$

$$(P d / P u) > (1 / (1 + k)) \text{ のとき } \left( \left( (k-1) / (2 \cdot k) \right) \cdot (1 - P d / P u) + P d / P u \right) \cdot (1 - P d / P u)^{1/2}.$$

【請求項 3】 前記可変絞り部は、内燃機関の吸気経路に設けられるスロットルバルブであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の流量算出装置。

【請求項 4】 前記可変絞り部は、デューティ制御弁であり、前記開口面積がデューティ比に基づき設定されることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の流量算出装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、通気経路の途中に設けられる可変絞り部を通過する流体の流量を算出する流量算出装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、通気経路を流れる流体の流量を算出する流量算出する技術手法として、特開平 6-74076 号公報に記載されるように、スロットル弁を備えた吸気管を通じて内燃機関の気筒に吸入される空気量を算出する吸入空気量算出方法であって、スロットル弁をオリフィスとみなし、スロットル開度に応じそこを通過する空気量を流体力学の式を用いて求めるものが知られている。

【0003】 この流量算出方法は、流量算出に際し実圧力を用いて流量の推定精度を向上させると共に、その推定誤差があっても次回の推定算出に影響しないように算出を行うとするものである。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、この流量算出方法では、断熱変化の関係式を用いており、流通する流体において等エントロピー条件が成立することを前提として流量を算出していることから、等エントロピー条件が成立しない状況の下では正確な流量が算出できないという問題点がある。特に、内燃機関の吸気管を流れる空気量を算出する場合、必ずしも等エントロピー条件が成立しないため、正確な流量の算出が困難である。

【0005】 そこで本発明は、このような問題点を解決するためになされたものであって、通気経路を流れる流体の流量を正確に算出できる流量算出装置を提供することを目的とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 すなわち、本発明に係る流量算出装置は、通気経路の途中に設けられる可変絞り部を通過する流体の流量を算出する流量算出装置において、可変絞り部を通過する流体の流量を  $m t$ 、可変絞り部の開口面積を  $A d$ 、通気経路における可変絞り部の上流側の上流圧力を  $P u$ 、通気経路における可変絞り部の上流側の上流密度を  $\rho u$ 、通気経路における可変絞り部の下流側の下流圧力を  $P d$ 、流体の比熱比を  $k$  としたときに、以下の式により流体の流量  $m t$  を算出する演算手段を備えたことを特徴とする。  $m t = A d \cdot (P u \cdot \rho u)^{1/2} \cdot \left( \left( (k-1) / (2 \cdot k) \right) \cdot (1 - P d / P u) + P d / P u \right) \cdot (1 - P d / P u)^{1/2}.$

【0007】 また本発明に係る流量算出装置は、前述の演算手段が以下の式を用いて流体の流量  $m t$  を算出することを特徴とする。  $m t = A d \cdot (P u \cdot \rho u)^{1/2} \cdot \Phi (P d / P u).$  なお、関数  $\Phi (P d / P u)$  は、  $(P d / P u) \leq (1 / (1 + k))$  のとき  $(k / (2 \cdot (k + 1)))^{1/2}$  であり、  $(P d / P u) > (1 / (1 + k))$  のとき  $\left( \left( (k-1) / (2 \cdot k) \right) \cdot (1 - P d / P u) + P d / P u \right) \cdot (1 - P d / P u)^{1/2}$  である。

【0008】 また本発明に係る流量算出装置は、前述の可変絞り部が内燃機関の吸気経路に設けられるスロットルバルブであることを特徴とする。

【0009】 また本発明に係る流量算出装置は、前述の可変絞り部がデューティ制御弁であり、開口面積がデューティ比に基づき設定されることを特徴とする。

【0010】 これらの発明によれば、断熱変化の関係式に基づかずに流体の流量を算出するため、等エントロピー条件が成立しない条件の下で流体の流量の算出が正確に算出できる。

## 【0011】

【発明の実施の形態】 以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を

省略する。

(第一実施形態)

【0012】図1に本実施形態に係る流量算出装置の説明図を示す。

【0013】本図に示すように、本実施形態に係る流量算出装置は、エンジン2の吸気管20のスロットルバルブ23を通過する空気量の算出に適用したものである。エンジン2は、可変動弁機構を備えたものであり、例えば、吸気弁3及び排気弁4の開閉タイミングを変化させる可変バルブタイミング機構5を備えている。

【0014】可変バルブタイミング機構5は、ECU6と電気的に接続されており、ECU6から出力される制御信号に基づいて作動し、カムポジションセンサなどの検出センサ7を介してECU6にバルブタイミングに関する検出信号を出力する。

【0015】エンジン2には、クランクポジションセンサ12が設けられている。クランクポジションセンサ12は、エンジン回転数を検出するセンサであり、ECU6と接続され、ECU6に対し検出信号を出力する。

【0016】エンジン2には、燃焼室8に燃料を噴射するインジェクタ9が設けられている。インジェクタ9は、燃料を燃焼室8へ供給する燃料噴射手段であり、エンジン2が備えるシリンダ10ごとに設置されている。燃焼室8は、シリンダ10内に配設されたピストン11の上方に形成されている。燃焼室8の上部には、吸気弁3及び排気弁4が配設されている。

【0017】吸気弁3の上流側には、インテークマニホールドなどからなる吸気管20が接続されている。吸気管20の上流側には、エアクリーナ22が設置されている。また、吸気管20の途中には、スロットルバルブ23が設けられている。

【0018】スロットルバルブ23は、吸気経路の途中に設けられる可変絞部であり、ECU6の制御信号に\*

$$m_t = A_d \cdot (P_u \cdot \rho_u)^{1/2} \cdot \Phi(P_d/P_u) \cdots (1)$$

【0027】ここで、関数 $\Phi(P_d/P_u)$ は、 $(P_d/P_u) \leq (1/(1+k))$ のとき $(k/(2 \cdot (k+1)))^{1/2}$ であり、 $(P_d/P_u) > (1/(1+k))$ のとき $((k-1)/(2 \cdot k)) \cdot (1 - P_d/P_u) + P_d/P_u \cdot (1 - P_d/P_u)^{1/2}$ である。

【0028】また、 $A_d$ は吸気管20のスロットルバルブ23の位置における開口面積、 $P_u$ は吸気管20のスロットルバルブ23の上流側の上流圧力、 $\rho_u$ は吸気管20のスロットルバルブ23の上流側の上流密度、 $P_d$ ※

$$m_{tTA} = A_d \cdot (P_u \cdot \rho_u)^{1/2} \cdot \Phi(P_{dTA}/P_u) \cdots (2)$$

【0032】ここで、式(1)が定常状態以外の過渡状態でも成立するとし、式(1)及び式(2)において同一スロットル開度で $A_d \cdot (P_u \cdot \rho_u)^{1/2}$ が上下の差圧に依存しないものとして取り扱い、式(1)及び式

$$m_t = m_{tTA} \cdot \Phi(P_d/P_u) / \Phi(P_{dTA}/P_u) \cdots (3)$$

\*基づいて作動しスロットル開度を変化させ、それに伴い吸気経路の開口面積を変化させる。スロットルバルブ23のスロットル開度は、スロットルポジションセンサ24により検出され、ECU6に入力される。

【0019】エアクリーナ22の下流位置には、エアフローメータ25が設けられている。エアフローメータ25は、吸入空気量を検出する吸入空気量検出手段である。エアフローメータ25の検出信号は、ECU6に入力される。

10 【0020】ECU6は、流量算出装置の装置全体の制御を行うものであり、CPU、ROM、RAMを含むコンピュータを主体として構成されている。ROMには、流量算出ルーチンを含む各種制御ルーチンが記憶されている。

【0021】次に、本実施形態に係る流量算出装置の動作について説明する。

【0022】図2は、流量算出装置の動作を示すフローチャートである。

【0023】本図のステップS10（以下、単に「S10」と示す。他のステップについても同様とする。）にて、スロットル開度TA、エンジン回転数NE、バルブタイミングVTの読み込みが行われる。

【0024】スロットル開度TAの読み込みは、スロットルポジションセンサ24の出力信号に基づいて行われる。エンジン回転数NEの読み込みは、クランクポジションセンサ12の出力信号に基づいて行われる。バルブタイミングVTの読み込みは、検出センサ7の出力信号に基づいて行われる。

【0025】そして、S12に移行し、吸気管20のスロットルバルブ23を通過する空気流量 $m_t$ の演算が行われる。この空気流量 $m_t$ の演算は、次の式(1)に基づいて行われる。

【0026】

※は吸気管20のスロットルバルブ23の下流側の下流圧力、 $k$ は吸入される空気比熱比である。

【0029】具体的な空気流量 $m_t$ の演算は、例えば、以下の通りに行われる。

【0030】エンジン2が定常状態であるときには空気流量及び吸気管圧力が一意に決まるので、このときの定常流量を $m_{tTA}$ 、定常圧力を $P_{dTA}$ とすると、上述の式(1)に基づいて、次の式(2)が成立する。

【0031】

(2)により $A_d \cdot (P_u \cdot \rho_u)^{1/2}$ を消去すると、次の式(3)が得られる。

【0033】

【0034】そして、定常状態時の $m_{tTA}$ 及び $\Phi(P_{dTA}/P_u)$ はスロットル開度 $TA$ 、エンジン回転数 $NE$ 、バルブタイミング $VT$ により決定できるので、 $m_{tTA}/\Phi(P_{dTA}/P_u)$ をスロットル開度 $TA$ 、エンジン回転数 $NE$ 、バルブタイミング $VT$ のテーブルとして設定し、 $\Phi(P_d/P_u)$ を $P_d$ のテーブルとして設定する。

【0035】これにより、スロットル開度 $TA$ 、エンジン回転数 $NE$ 、バルブタイミング $VT$ に従い、式(3)を用いて、スロットルバルブ23を通過する空気流量 $m_t$ を算出することができる。

【0036】なお、前述の空気流量 $m_t$ の算出において、定常状態時の $m_{tTA}$ 及び $P_{dTA}$ をそれぞれスロットル開度 $TA$ 、エンジン回転数 $NE$ 、バルブタイミング $VT$ のテーブルとして設定し、 $\Phi(P_d/P_u)$ を $P_d$ のテーブルとして設定し $P_d$ 、 $P_{dTA}$ で参照することにより、過渡状態の空気流量 $m_t$ の算出を行ってもよい。

【0037】また、定常状態の場合、スロットル開度 $TA$ とエンジン2への吸入空気量は等しいので、 $P_{dTA}$ をスロットル開度 $TA$ 、エンジン回転数 $NE$ 、バルブタイミング $VT$ のテーブルとして設定し、充填効率によって $m_{tTA}$ を算出し、 $\Phi(P_d/P_u)$ を $P_d$ のテーブルとして設定し $P_d$ 、 $P_{dTA}$ で参照することにより、過渡状態の空気流量 $m_t$ を算出してもよい。

$$m_t = A_d \cdot (P_u \cdot \rho_u)^{1/2} \cdot \Phi_1(P_d/P_u) \cdots (4)$$

【0044】ここで、関数 $\Phi_1(P_d/P_u)$ は、 $(P_d/P_u) \leq (2/(k+1))^{k/(k-1)}$ のときに $(2/(k+1))^{1/(k-1)} \cdot (2 \cdot k/(k+1))^{1/2}$ であり、 $(P_d/P_u) > (2/(k+1))^{k/(k-1)}$ のときに $((2 \cdot k/(k-1)) \cdot ((P_d/P_u)^{2/k} - (P_d/P_u)^{(k+1)/k}))^{1/2}$ である。

【0045】この比較例の算出の式(4)は、質量保存※

$$v_u^2/2 + (k/(k-1)) \cdot (P_u/\rho_u) = v_d^2/2 + (k/(k-1)) \cdot (P_d/\rho_d) \cdots (6)$$

【0048】 $P_u/\rho_u^k = P_d/\rho_d^k \cdots (7)$

【0049】なお、 $\rho_d$ は、吸気管20のスロットルバルブ23の下流側の下流密度、 $v_u$ は、スロットルバルブ23の上流側の空気流速、 $v_d$ は、スロットルバルブ23の下流側の空気流速である。

【0050】一方、本実施形態に係る流量算出装置は、★40

$$\rho_d \cdot v_d^2 \cdot A_d - \rho_u \cdot v_u^2 \cdot A_u = P_u \cdot A_u - P_d \cdot A_d + p \cdot (A_d - A_u) \cdots (8)$$

【0052】なお、 $p$ はスロットルバルブ23の上流の全体平均圧力である。

【0053】図6に示すように、スロットルバルブ23の上流側の開口面積 $A_u$ 、密度 $\rho_u$ 、圧力 $P_u$ 、流速 $v_u$ とし、スロットルバルブ23の開口面積 $A_d$ 、密度 $\rho_d$ 、圧力 $P_d$ 、流速 $v_d$ としたときに、上流側の開口面積 $A_u$ を無限大として考えると、式(5)の質量保存則から、 $v_u = 0$ となる。

\*【0038】また、上流圧力 $P_d$ は、吸気管20に圧力センサを設けて実測値を用いてもよいし、エアフローメータ25などの検出値から推定により決定してもよい。更に、 $\Phi(P_d/P_u)$ のテーブルは、引数を $P_d$ にしても、 $P_d/P_u$ にしてもよい。

【0039】次に、本実施形態に係る流量算出装置における算出結果について説明する。

【0040】図3に本実施形態に係る流量算出装置におけるスロットル通過空気量の算出結果、比較例となる流量算出装置におけるスロットル通過空気量の算出結果及び高応答流量計の実測結果を示す。図4は図3の算出におけるスロットル開度の時間変化、図5は吸気管圧力(吸気圧)の時間変化を表したものである。

【0041】図3に示すように、本実施形態に係る流量算出装置における算出結果は、高応答流量計の実測値によく追従しており、正確に流量が算出されていることが分かる。一方、比較例となる流量算出装置における算出結果は、通過空気量が立ち上がった部分で高応答流量計の実測値に追従しておらず、流量が正確には算出されていないことが分かる。

【0042】ここで、比較例となる流量算出装置は、スロットル通過空気量 $m_t$ を次の式(4)に基づき、算出するものを用いた。

【0043】

※則(式(5))、エネルギー保存則(式(6))及び等エントロピー条件成立を前提とする断熱変化の関係式(式(7))により、導かれた式である。

【0046】

$$A_u \cdot \rho_u \cdot v_u = A_d \cdot \rho_d \cdot v_d \cdots (5)$$

【0047】

★スロットル通過空気量 $m_t$ を上述の式(1)に基づき算出している。式(1)は、上述の質量保存則(式(5))、エネルギー保存則(式(6))及び次の運動量保存則(式(8))により、導かれる式である。

【0051】

【0054】また、式(8)の運動量保存則から、 $v_u = 0$ も考慮すると、 $p = P_u$ となる。従って、運動量保存則は、 $\rho_d \cdot v_d^2 = P_u - P_d$ となる。

【0055】ゆえに、スロットル通過空気量 $m_t$ として、式(1) ( $(P_d/P_u) > (1/(1+k))$ )の場合が導かれる。図7は、本実施形態に係る流量算出装置における式(1)の $\Phi(P_d/P_u)$ をグラフ化したものである( $k=1.4$ の場合)。

【0056】以上のように、本実施形態に係る流量算出装置によれば、等エントロピー条件成立を前提とせず、質量保存則（式（5））、エネルギー保存則（式（6））及び運動量保存則（式（8））により導かれる式（1）を用いて、吸気管 20 のスロットルバルブ 23 を通過する空気流量を算出している。このため、必ずしも等エントロピー条件が成立しないスロットルバルブ 23 通過空気流量を正確に算出することができる。

（第二実施形態）

【0057】次に第二実施形態に係る流量算出装置について説明する。

【0058】第一実施形態に係る流量算出装置ではエンジン 2 の吸気管 20 のスロットルバルブ 23 を通過する空気量の算出に適用した場合について説明したが、本実施形態に係る流量算出装置は、通気経路の途中に設けられる可変絞り部を通過する流体の流量を算出する流量算出装置であって、可変絞り部がデューティー制御弁である場合に適用したものである。

【0059】例えば、本実施形態に係る流量算出装置は、EGR 弁やバージ制御弁などの制御弁がオン、オフを繰り返してデューティー制御され流体の流量が調整される場合において、上述した式（1）を用いて流通する流量を算出するものに適用される。

【0060】この場合、デューティー制御の制御周波数が流量の計算周波数よりも小さいときには、式（1）の開口面積  $A_d$  として実際の開口面積を代入して流量の算出が行われる。

【0061】一方、図 8 に示すように、デューティー制御の制御周波数が流量の計算周波数よりも大きいときには、式（1）の開口面積  $A_d$  は、デューティー制御のデューティー比に基づいて設定される。すなわち、開口面

積  $A_d$  として、計算時間間隔  $\Delta t$  における平均開口面積が用いられて流量の算出が行われる。

【0062】このような本実施形態に係る流量算出装置にあっても、第一実施形態に係る流量算出装置と同様に流量の算出が可能であり、可変絞り部を通過する流体の流量を正確に算出することができる。

【0063】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、断熱変化の関係式に基づかずに流体の流量を算出するため、等エントロピー条件が成立しない条件の下で流体の流量の算出が正確に算出できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第一実施形態に係る流量算出装置の説明図である。

【図 2】図 1 の流量算出装置の動作を示すフローチャートである。

【図 3】図 1 の流量算出装置の算出結果を示した図である。

【図 4】図 3 におけるスロットル開度の変化を示した図である。

【図 5】図 3 における吸気圧の変化を示した図である。

【図 6】図 1 の流量算出装置における算出式の説明図である。

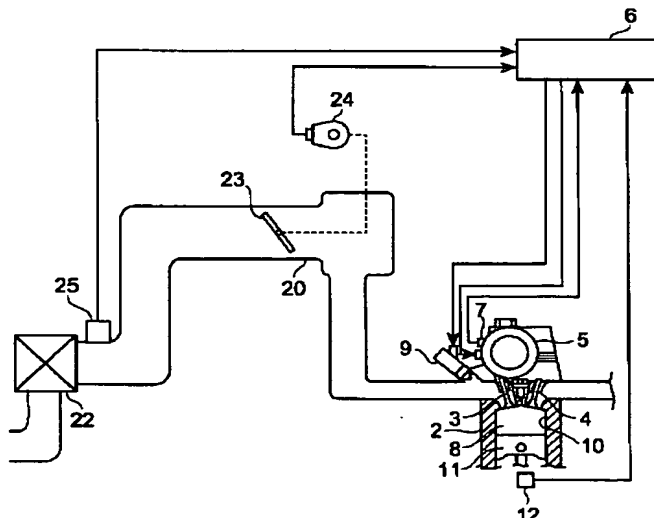
【図 7】図 1 の流量算出装置における算出式をグラフ化した図である。

【図 8】第二実施形態に係る流量算出装置の説明図である。

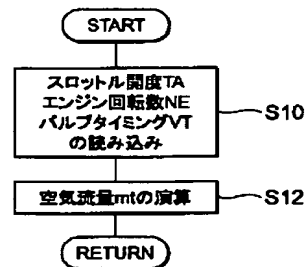
【符号の説明】

2…エンジン、3…吸気弁、4…排気弁、6…ECU（演算手段）、20…吸気管、23…スロットルバルブ。

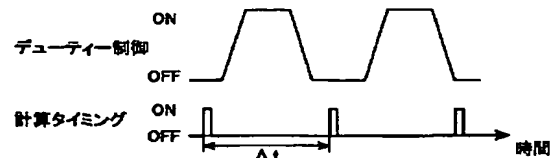
【図 1】



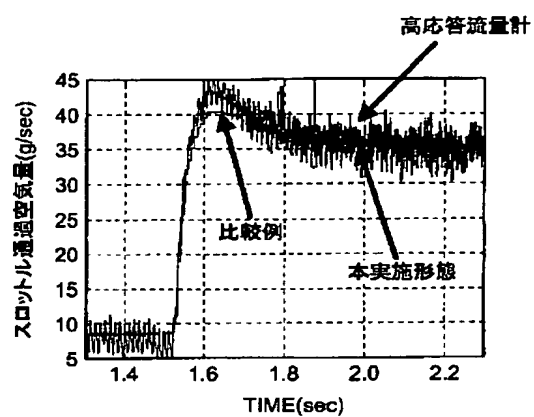
【図 2】



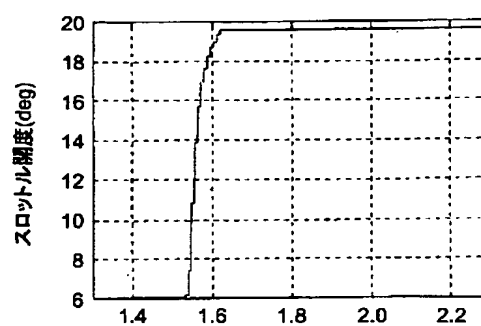
【図 8】



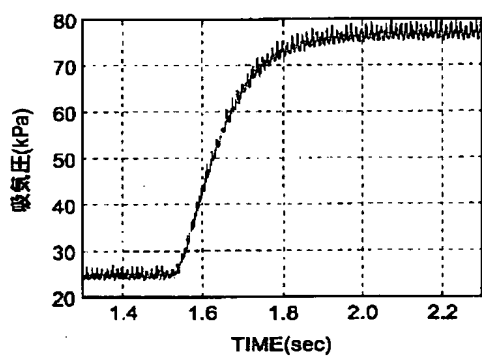
【図 3】



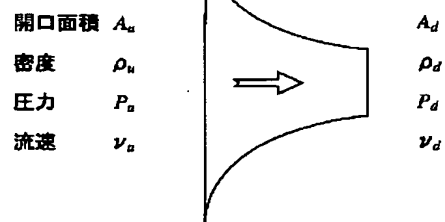
【図 4】



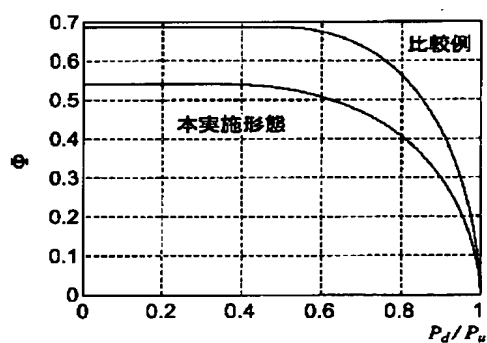
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 大島 明  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 武藤 晴文  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内



(72)発明者 堂田 久代  
愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会  
社デンソー内

F ターム(参考) 3G084 AA00 BA04 BA20 BA27 DA00  
EC04 FA07 FA10 FA11 FA38  
3G301 HA13 HA14 HA19 JA00 LA00  
LA01 NA09 ND41 PA01Z  
PA07Z PA11Z PE03Z